

第35回 廃棄物資源循環学会 研究発表会

廃棄物焼却研究部会 『脱炭素社会に向けた一般廃棄物焼却施設のあり方』

2024年9月11日

CO₂削減目標を達成するための シナリオ検討

廃棄物資源循環学会 廃棄物焼却研究部会

森岡泰樹 ((株)タクマ)

目次

1. CO₂削減目標達成に向けた各シナリオの前提条件
2. 各シナリオの検討結果
3. まとめ

1. CO₂削減目標達成に向けた 各シナリオの前提条件

各シナリオの前提条件 (1/2)

全シナリオ共通の前提条件

- ✓ **全国を対象**としたシナリオ検討を実施
- ✓ 施設規模や更新時期といった**個別施設の詳細は考慮しない**
- ✓ 全国のごみ量・ごみ質をもとに、**各原単位を掛け合わせる**ことで発電量やCO₂排出量などの**全国の合計値**を算出

ベースシナリオ

- ✓ 2050年にかけて**発電効率向上**、**消費電力削減**を見込んだシナリオ
- ✓ **大規模な熱供給やCO₂回収設備の導入は見込まない**

シナリオ1：高効率発電

- ✓ ベースシナリオに対して、**発電効率をさらに向上**することで2030年・2040年の目標を達成させるシナリオ

各シナリオの前提条件 (2/2)

シナリオ2：熱供給量向上

- ✓ ベースシナリオに対して、**大規模な熱供給**を導入して**熱供給量を向上**することで2030年・2040年の目標を達成させるシナリオ

シナリオ3：CO₂回収

- ✓ ベースシナリオに対して、**CO₂回収設備を導入**することで2030年・2040年・2050年の目標を達成させるシナリオ

シナリオ4：熱供給+CO₂回収

- ✓ シナリオ1～3の検討結果をもとに想定される、目標達成に向けて**最も現実的**と思われるシナリオ。
- ✓ **複数の対策**を組み合わせる。

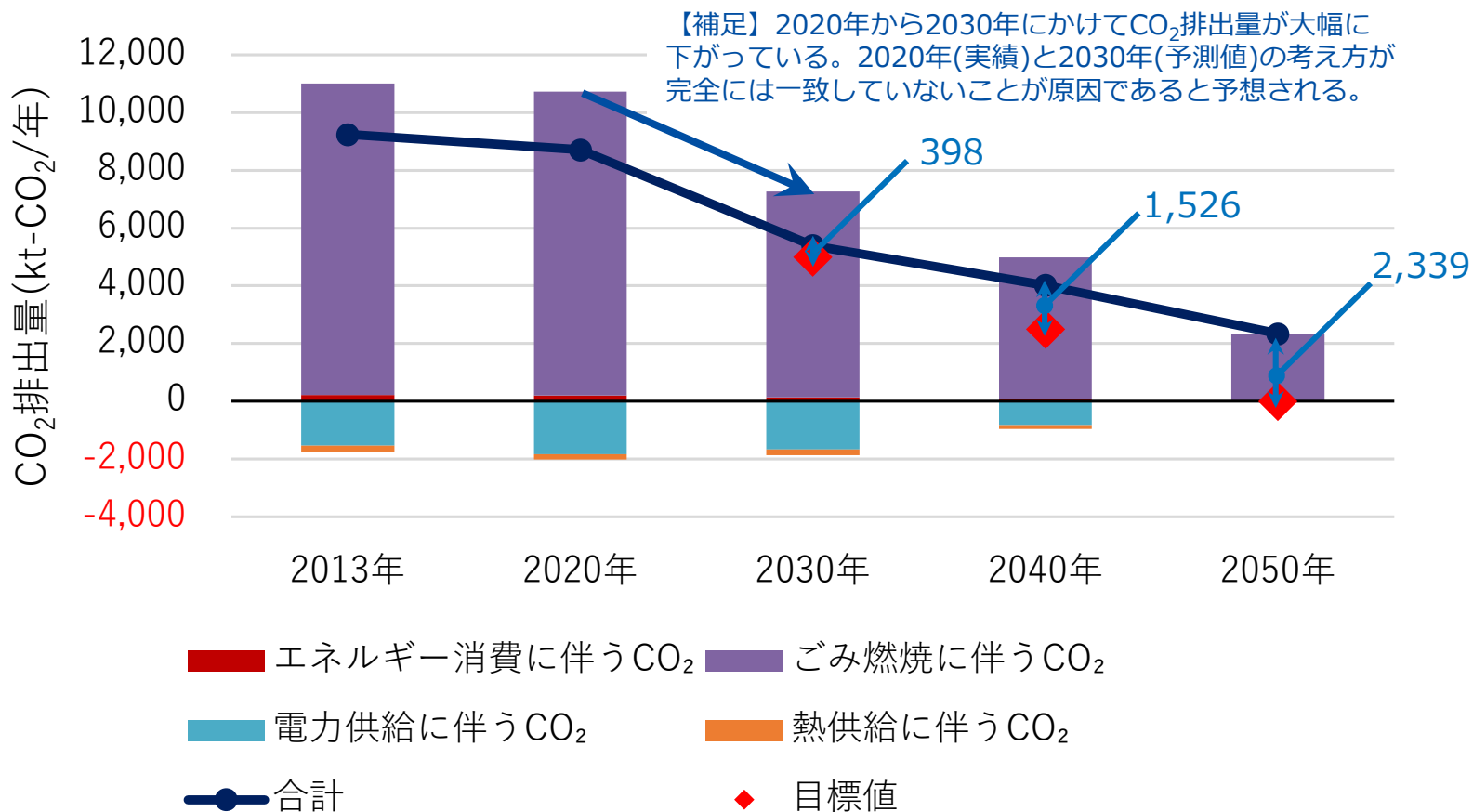
2. 各シナリオの検討結果

ベースシナリオ

CO₂排出量の将来推移 (ベースシナリオ)

発電効率向上、消費電力削減を見込んだシナリオ

一般廃棄物焼却施設からのCO₂排出量の推移

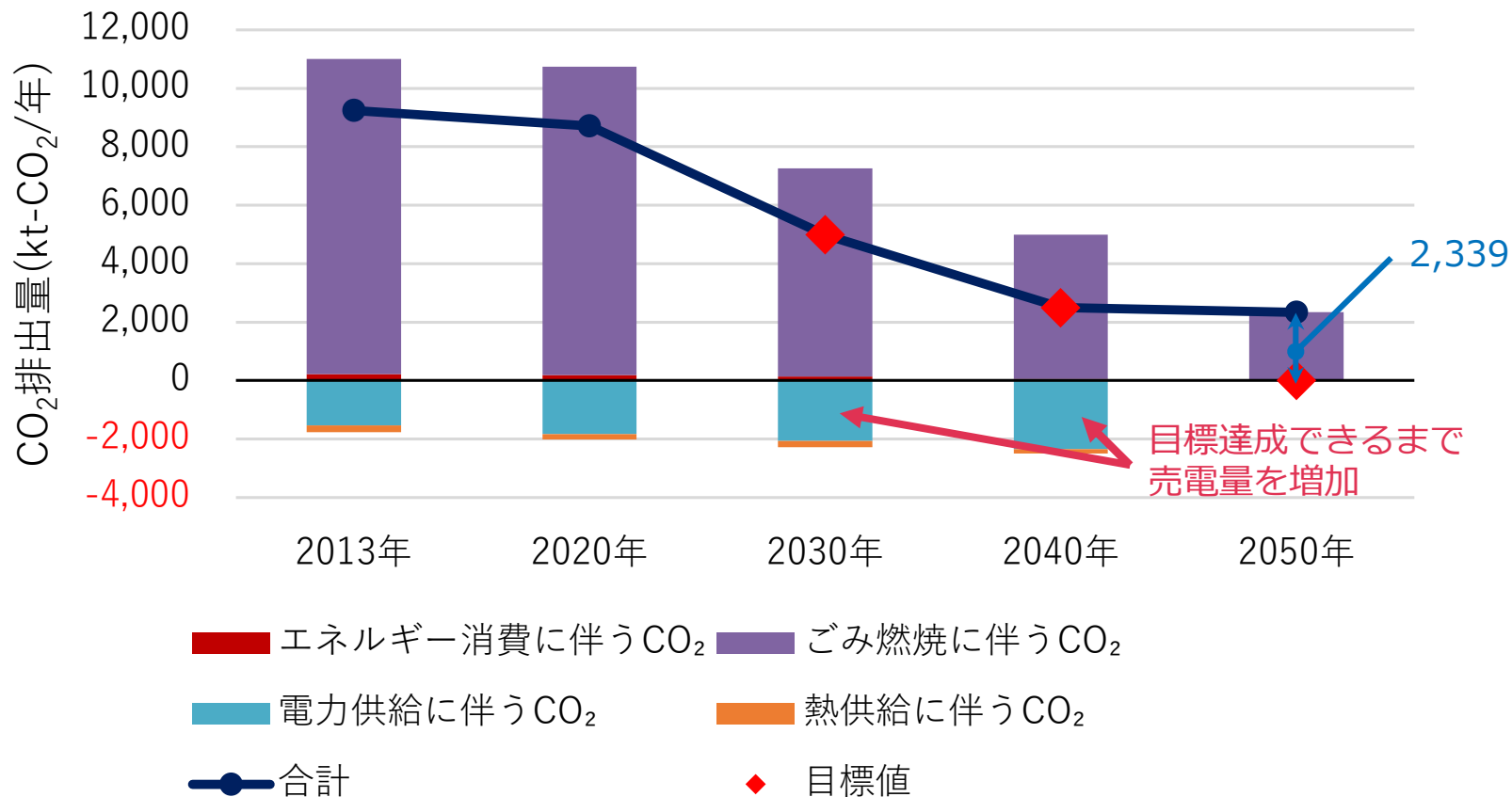


発電効率向上・消費電力削減のみの対策では、2030年・2040年も含め目標達成は困難

シナリオ1:高効率発電

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ1：高効率発電)(1/3)

目標を達成できるまで2030年・2040年の売電量を増加させたシナリオ
一般廃棄物焼却施設からのCO₂排出量の推移



2050年には電力のCO₂排出係数が"0"になるため目標未達

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ1：高効率発電)(2/3)

ごみ量減少・ごみ質低下も考慮して、2030年・2040年の目標を達成する発電量を実現するのに必要な発電効率は下表の通り

	ごみ量 (kt/年)	ごみ質 (kJ/kg)	ごみ燃焼熱量 (GJ/年)	発電量 (MWh/年)	発電効率 (%)
2020年	33,269	9,448	314,331,167	10,171,585 (実績)	11.6 (実績)
2030年	31,000	8,400	260,400,000	12,441,487 (目標達成に必要な量)	17.2 (目標達成に必要な効率)
2040年	23,800	7,900	188,020,000	21,608,406 (目標達成に必要な量)	41.4 (目標達成に必要な効率)
2050年	16,600	6,600	109,560,000	12,591,305 (右の発電効率より算出)	41.4 (2040年と同じ)

2030年：目標達成するには全国平均17.2%が必要 ➡ 達成は困難

仮に、施設寿命を30年として全施設の3分の1が2021年～2030年に更新されたとして、更新施設の発電効率は28.3%以上が必要

$$(11.6\% \times 2/3 + 28.3\% \times 1/3 = 17.2\%)$$

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ1：高効率発電)(3/3)

ごみ量減少・ごみ質低下も考慮して、2030年・2040年の目標を達成する発電量を実現するのに必要な発電効率は下表の通り

	ごみ量 (kt/年)	ごみ質 (kJ/kg)	ごみ燃焼熱量 (GJ/年)	発電量 (MWh/年)	発電効率 (%)
2020年	33,269	9,448	314,331,167	10,171,585 (実績)	11.6 (実績)
2030年	31,000	8,400	260,400,000	12,441,487 (目標達成に必要な量)	17.2 (目標達成に必要な効率)
2040年	23,800	7,900	188,020,000	21,608,406 (目標達成に必要な量)	41.4 (目標達成に必要な効率)
2050年	16,600	6,600	109,560,000	12,591,305 (右の発電効率より算出)	41.4 (2040年と同じ)

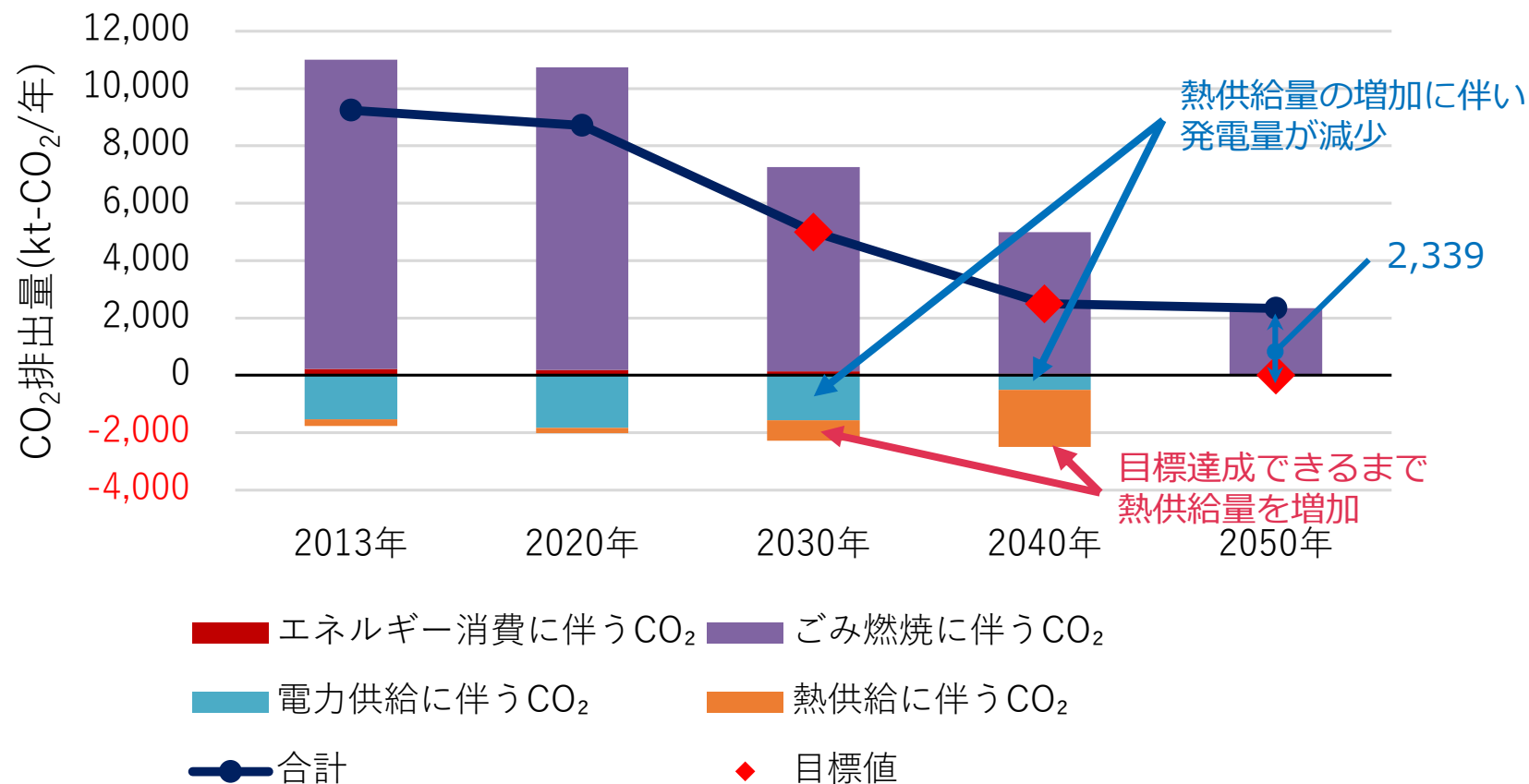
2040年：目標達成するには実現不可能なレベルの発電効率が必要

施設規模300t/日として、発電効率11.6%・年間発電量24,673MWh/年で換算すると、ベースシナリオに対して、2030年に80施設分、2040年に451施設分の追加的な発電量が必要

シナリオ2:熱供給量向上

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ2：熱供給量向上) (1/3)

目標を達成できるまで2030年・2040年の熱供給量を増加させたシナリオ
一般廃棄物焼却施設からのCO₂排出量の推移



2050年には熱供給のCO₂排出係数が"0"になるため目標未達

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ2：熱供給量向上) (2/3)

【補足】

本シナリオでは、熱供給量を増加させた分だけ蒸気タービンに供給される蒸気量が減少して、発電量が減少するものとして算出している。

具体的には以下の数式の通り。

$$\begin{aligned} \text{発電量減少分(GWh/年)} &= \\ & \text{熱供給量増分(GJ/年)} \div \text{ボイラ効率} \times \text{発電効率} \div 3600 \\ & (\text{ボイラ効率：90\%、発電効率：各年の平均発電効率}) \end{aligned}$$

なお、熱供給先の必要な温度によっては、タービンの抽気蒸気や排気蒸気の利用が可能となり、その場合発電量がここまでは減少しないことも想定される。

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ2：熱供給量向上) (3/3)

2020年をベースとした熱供給量増加分について、**熱供給先として必要となる施設数の増分**は下表の通り。各施設の必要熱量は以下の通り想定。

地域熱供給： 約100 TJ/年 (既存の清掃工場における地域熱供給実績より)

産業利用： 約500 TJ/年 (地域熱供給の5倍と想定)

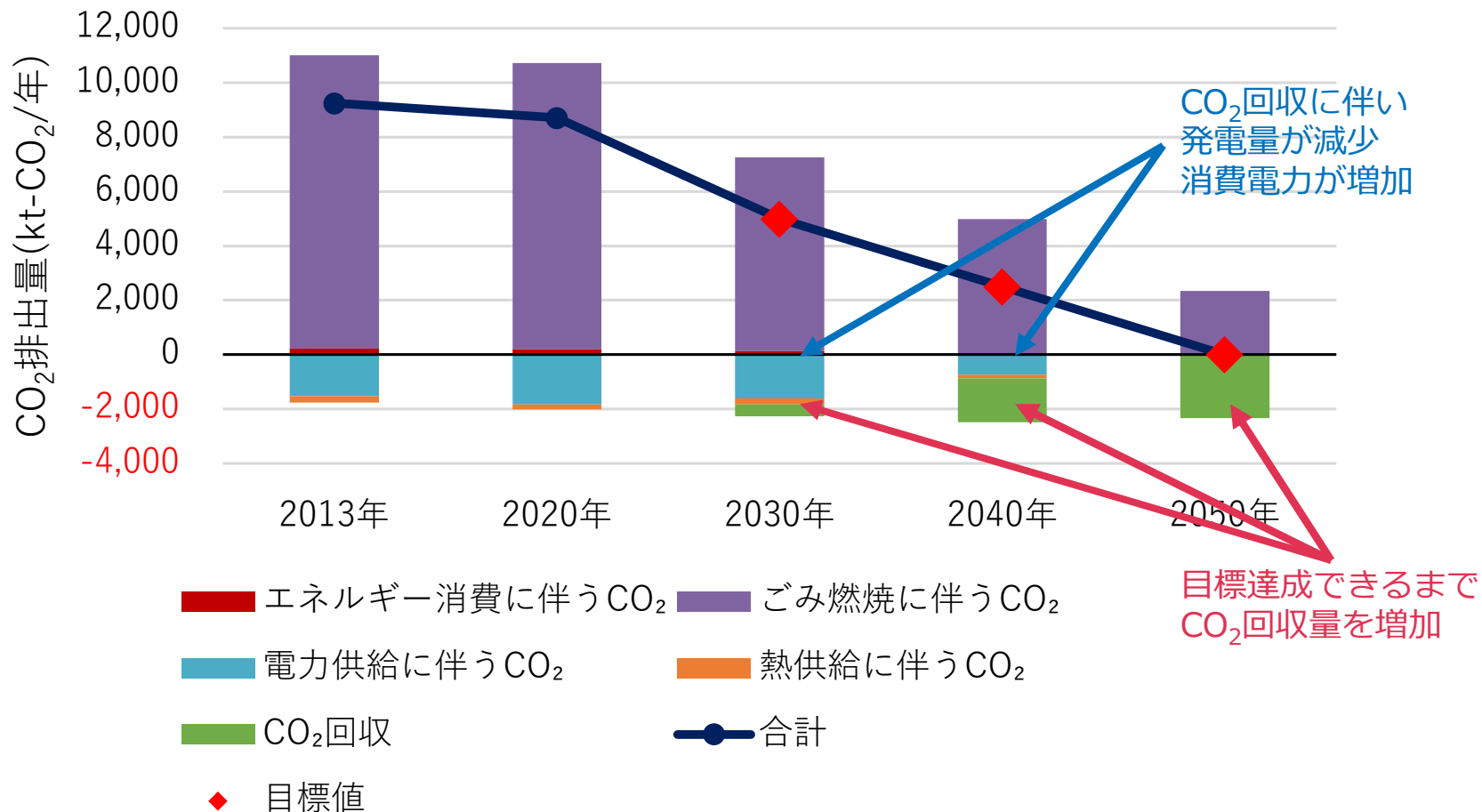
【補足】 100TJ/年・500TJ/年は、300t/日のごみ焼却施設における年間ごみ燃焼発生熱量の約15%・73%にあたる (ごみ発熱量：8500kJ/kg, 年間運転日数269日/年/炉)。

	熱供給量増加分 (GJ/年)	必要施設数 (地域熱供給)	必要施設数 (産業利用)
2030年	8,415,619	84	17
2040年	46,329,244	463	93
2050年	46,329,244	463	93

2030年・2040年の目標を達成するために必要な熱供給施設数は非常に多い。大規模な熱供給先(化学プラントなど)があれば目標達成に近づくが、それでも2040年93施設であり非常に多い。

【補足】 上表の2040年・2050年の熱供給量増加分(約50PJ/年)は、産業用の化石燃料需要(ボイラ用) 約1,000PJ/年*に対して約5%にあたる。

シナリオ3:CO₂回収

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ3：CO₂回収) (1/3)目標を達成できるまでCO₂回収量を増加させたシナリオ一般廃棄物焼却施設からのCO₂排出量の推移

必要量のCO₂回収設備を設けることで、2050年も目標達成

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ3 : CO₂回収) (2/3)

【補足】

本シナリオでは、CO₂回収施設で消費される電力・熱を以下の通り想定し、消費電力の増加・発電量の減少を見込んでいる。

CO₂回収施設の消費電力原単位 : 293 kWh/t-CO₂

CO₂回収施設の消費熱量原単位 : 3.08 GJ/t-CO₂

(ともに中央環境審議会循環型社会部会資料より)

消費熱量原単位をもとに算出したCO₂回収施設消費熱量は、以下の数式で発電量減少分として見込んでいる。

発電量減少分(GWh/年) =

CO₂回収施設熱消費量 (GJ/年) ÷ ボイラ効率 × 発電効率 ÷ 3600

(ボイラ効率 : 90%、発電効率 : 各年の平均発電効率)

なお、CO₂回収施設で必要な温度によっては、タービンの抽気蒸気の利用が可能となり、その場合発電量がここまでは減少しないことも想定される。

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ3 : CO₂回収) (3/3)

各年の目標達成のために必要となるCO₂回収施設数は下表の通り。

施設数の算定に使用した各想定値は下記の通り。

(令和4年度 春の研究討論会「一般廃棄物焼却施設におけるカーボンニュートラルの可能性」より)

CO₂吸収率 : 90%

施設稼働率等 : 運転日数280日/年、調整稼働率0.96

ごみ焼却施設規模 : 375t/日 (エネルギー自立する施設規模)

	CO ₂ 回収量 (kt-CO ₂ /年)	CO ₂ 回収施設規模 (kt-CO ₂ /年)	焼却施設規模(合計) (t-ごみ/日)	施設数
2030年	446	496	2,245	6
2040年	1,620	1,800	8,466	23
2050年	2,339	2,599	13,676	36

2030年までに6施設のCO₂回収が必要。その後も約15施設/10年のペースでCO₂回収施設の新たな建設が必要

➡2030年までの実現は困難。2040年以降については今後の普及状況次第。

シナリオ4:熱供給 + CO₂回収

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ4：熱供給+CO₂回収) (1/3)

シナリオ1～3の結果をもとに、2050年に向けた比較的現実的なシナリオとして、熱供給・CO₂回収を組合せたシナリオ4を設定

2030年

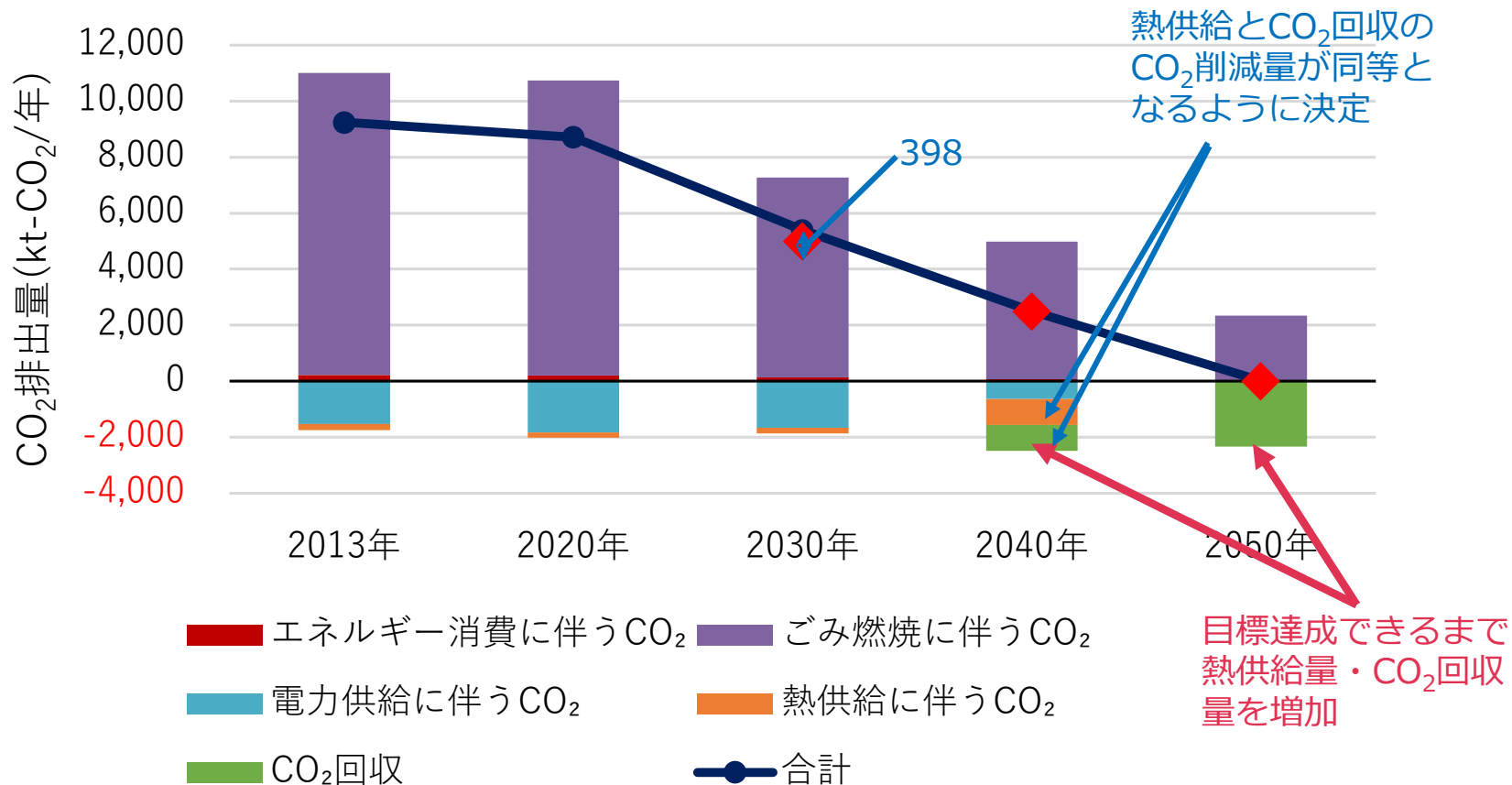
- ✓ 現時点(2024年)から2030年までの間に大規模な熱供給・CO₂回収を導入することは困難であると考え、2030年での導入は見込まない。
- ✓ 同様の考えから、発電量はベースシナリオと同等とする。

2040年

- ✓ 熱供給とCO₂回収のCO₂削減量が同等となるように熱供給量・CO₂回収量を決定。
- ✓ 発電量は、ベースシナリオと同等とする。

2050年

- ✓ 熱供給量は2040年と同等とする
- ✓ CO₂回収量を増加させることでカーボンニュートラル達成

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ4：熱供給+CO₂回収) (2/3)一般廃棄物焼却施設からのCO₂排出量の推移

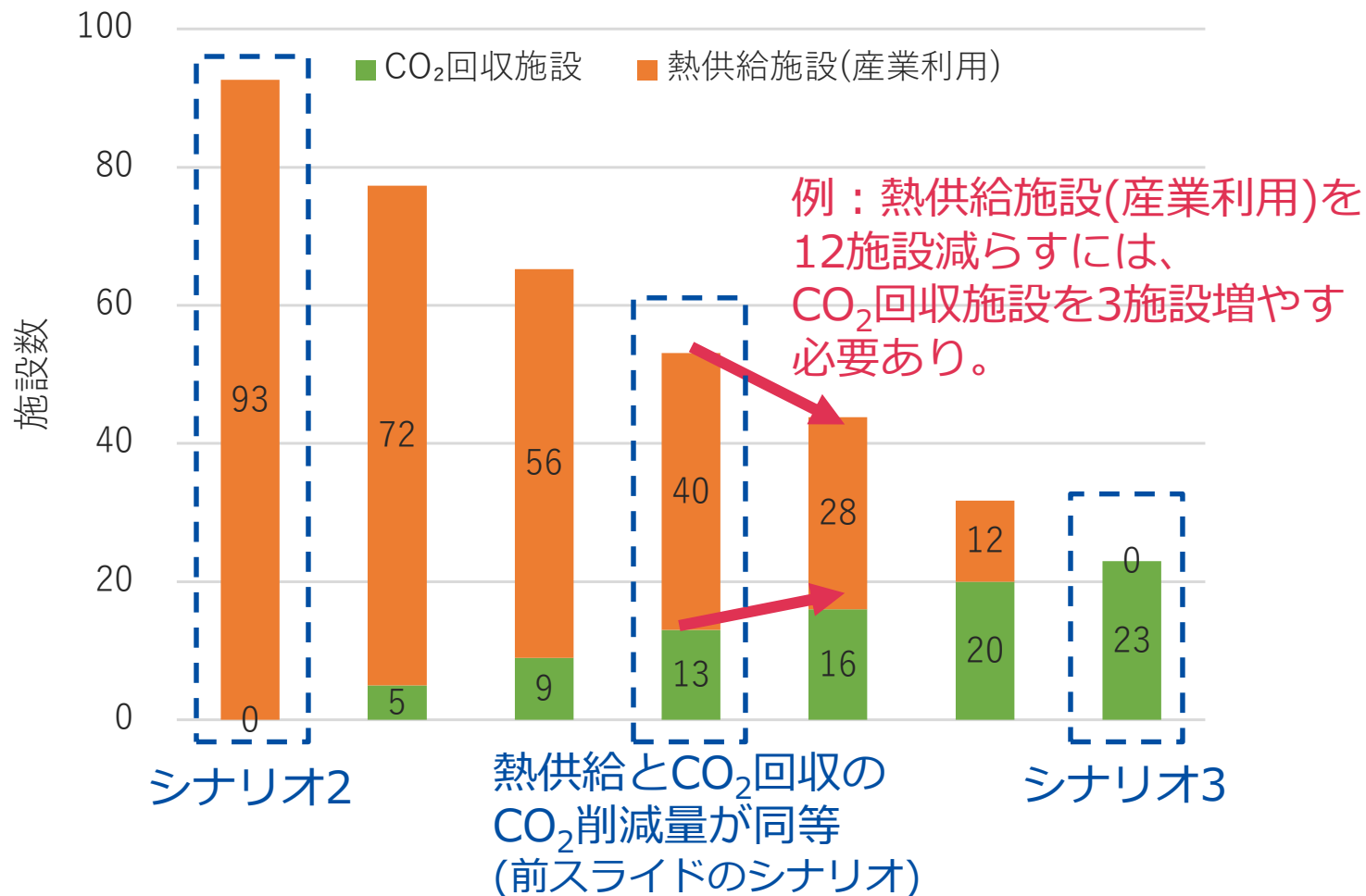
2030年：ベースシナリオと同様に目標値未達 (398kt-CO₂/年 超過)

2040年：熱供給・CO₂回収の組合せにより目標値達成

2050年：CO₂回収により目標値達成(シナリオ3と同様)

CO₂排出量の将来推移 (シナリオ4：熱供給+CO₂回収) (3/3)

2040年目標達成に向けては、大型の熱供給施設またはCO₂回収施設の導入が必要。それぞれの施設数は下図の通り複数の選択肢があり得る。



今後の社会情勢等に応じて適切なCO₂削減方策を選択することが必要

3. まとめ

将来予想 ～2030年～

ごみ量：	31,000 kt/年
ごみ質：	8,400 kJ/kg
バイオマス比率：	74%
CO ₂ 排出量原単位： (非バイオマス)	0.213t-CO ₂ /ごみ-t

CO₂排出原単位

電力：	0.250 t-CO ₂ /kWh
熱供給：	0.062 t-CO ₂ /GJ

- ✓ 2030年時点のごみ量・ごみ質は、現状より少し下がる程度
- ✓ CO₂排出原単位は、電力は現状から半減、熱供給はほぼ変化なし
- ✓ 2030年時点で稼働している施設は、現在既に稼働中または現時点で設計・建設中の施設がほとんど
- ✓ 大規模な熱供給施設やCO₂回収施設の設置など、抜本的な対策をこれから行うことは困難
 - ➡ 2030年において2013年度比46%削減の達成は困難

将来予想 ～2040年～

ごみ量：	23,800 kt/年
ごみ質：	7,900 kJ/kg
バイオマス比率：	76%
CO ₂ 排出量原単位： (非バイオマス)	0.190t-CO ₂ /ごみ-t

CO₂排出原単位

電力：	0.125 t-CO ₂ /kWh
熱供給：	0.040 t-CO ₂ /GJ

- ✓ 2040年時点のごみ量は現状の70%程度、発熱量は現状の90%程度
- ✓ ごみ量減少とバイオマス比率向上により、ごみ燃焼に伴うCO₂排出量(非バイオマス由来)は、現状の60%程度まで減少
- ✓ CO₂排出原単位は、電力は現状の3分の1、熱供給は現状の3分の2熱供給によるCO₂削減効果が相対的に向上
 - ➡ 高効率発電に加えて、大規模な熱供給やCO₂回収施設の導入が可能であれば、2040年において2013年度比73%削減を達成
 - ➡ 熱供給・CO₂回収のどちらを優先的に導入すべきか、社会情勢や地域性等を考慮して決定することが必要

将来予想 ～2050年～

ごみ量：	16,600 kt/年
ごみ質：	6,600 kJ/kg
バイオマス比率：	82%
CO ₂ 排出量原単位： (非バイオマス)	0.124t-CO ₂ /ごみ-t

CO₂排出原単位

電力：	0.000 t-CO ₂ /kWh
熱供給：	0.000 t-CO ₂ /GJ

- ✓ 2050年時点のごみ量は現状の50%程度、発熱量は現状の80%程度
- ✓ ごみ量減少とバイオ比率向上により、ごみ燃焼に伴うCO₂排出量(非バイオマス由来)は、現状の25%程度まで減少
- ✓ CO₂排出原単位は、カーボンニュートラルの達成により、電力・熱供給ともに"0"
 - ➡ 電力・熱供給ともにカーボンニュートラル達成後のCO₂削減対策としては、CO₂回収のみが有効
 - ➡ CO₂回収施設を全国に36施設※導入が可能であれば、カーボンニュートラル達成(※ ごみ焼却施設375t/日換算で36施設)

今後の課題 (1/2)

[シナリオ検討に関する課題]

- 本検討では、熱供給・CO₂回収を行う場合に必要な熱量分だけ高圧蒸気を使用し、その分だけ発電量が減少することを前提に発電量を算出した。熱供給・CO₂回収側で必要な温度によっては、タービンの抽気蒸気や排気蒸気の利用が可能となり、その場合には発電量の減少幅が小さくなる。熱供給・CO₂回収を導入する施設における、**より適切な蒸気利用方法の検討が必要**。
- 本検討では、全国レベルでの目標達成可否についてシナリオ検討を行ったが、実際にはそれぞれの地域・自治体・組合によって事情が異なるため、**地域レベルでの検討が必要**。
- CO₂削減対策である高効率発電・熱供給・CO₂回収等の導入は、焼却施設の更新時に行うのが現実的であるが、本検討では焼却施設の更新時期については考慮していない。実際の**焼却施設の更新時期を考慮した、より具体的な検討**が必要。

➡ **より具体的な地域レベルでの検討を本部会にて実施中**

今後の課題 (2/2)

[焼却施設の脱炭素化に向けた課題]

- 大規模な熱供給の導入には、地域熱供給や地域の産業との連携が必須であるため、**ごみ焼却施設の計画に併せて熱供給先の検討が必要**。
- **2030年代のCO₂回収施設導入**に向けて、ごみ焼却施設における**CO₂回収技術の実用化・実機導入の促進が必要**。また、**回収したCO₂の利用先・貯留先の確保**も必要となる。
- CO₂回収施設導入に伴うコストの増加、売電量・売電収入の減少を補うだけの**インセンティブ(交付金・CO₂排出権など)が必要**。